

## 可搬型の短剣道打突動作計測装置

星野 聖<sup>†</sup> 岩崎 純也<sup>††</sup> 中村 摩紀<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1丁目1-1

<sup>††</sup> 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1丁目1-1

<sup>†††</sup> 茨城県立医療大学 〒300-0331 茨城県稲敷郡阿見町阿見 4669-2

E-mail: <sup>†</sup> hoshino@esys.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup> s1620751@u.tsukuba.ac.jp, <sup>†††</sup> nakamura@ipu.ac.jp

**あらまし** 武道やスポーツ競技の技能向上のためには、自分の動作の特徴を客観的に知り得ることや、技能向上の程度や過程を、いつでも、どこでも、簡単な操作により知り得ることが求められる。しかし従来の動作計測システムでは、装置が高額である、計測場所が限定される、システム使用に習熟が必要である、専門の計測者が必要である、などの問題がある。そこで本研究では、いつでも、どこでも、誰にでも、操作に対する習熟なしに、武道などの打突動作を計測できるシステムを提案する。本研究では、システムの構成を述べ、その座標出力や関節角度出力の精度について検討を行い、かつ、小太刀のような短くて軽い竹刀を用いて高速に動作する短剣道において、打突動作の計測を行う。

**キーワード** 動作計測システム, 短剣道

## Portable system for measurement of martial arts movement

Kiyoshi HOSHINO<sup>†</sup> Junya IWASAKI<sup>††</sup> and Maki NAKAMURA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> University of Tsukuba 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8573 Japan

<sup>††</sup> University of Tsukuba 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8573 Japan

<sup>†††</sup> Ibaraki Prefectural University of Health Sciences 4669-2 Ami, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki, 300-0331 Japan

E-mail: <sup>†</sup> hoshino@esys.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup> s1620751@u.tsukuba.ac.jp, <sup>†††</sup> nakamura@ipu.ac.jp

**Abstract** In order to improve the skills of martial arts and sports competition, it is required to be able to know objectively the characteristics of their movements and to know the extent and process of skill improvement at any time, anywhere, by simple operation. However, conventional motion measurement system have problems such as expensive equipment, limitation of measurement location, proficiency in system use, specialized measurer, and so on. Therefore, we propose a system that we can measure attack actions such as martial arts without any proficiency in operation anytime, anywhere, and anyone. We describe the composition of the system, examine the accuracy of its coordinate output and joint angle output, and we measure an attack action of Tankendo.

**Keywords** Motion measurement system, Tankendo

### 1. はじめに

短剣道とは、大正時代に誕生した武道であり剣道で用いる全長約 1[m]の竹刀の半分である全長約 53[cm]の短刀を片手で操作し競い合う競技である[1]。このような武道において、遠藤は修業と修行について述べる中で、短剣道を含む武道で強くなる稽古法は一人稽古であり、熱意と意欲といったやる気がなければならぬと指摘している[2]。このことから、一人稽古の多い短剣道において個人で手軽に簡単に自分の動作の特徴を客観的に知り得ることや、技能向上の程度や過程を、簡単な操作により知り得ることは、競技者のやる気を向上させる観点からも重要であると言える。

動作特徴を客観的に取得可能な動作計測システムとして、光学式の Vicon が挙げられる[3]。身体に反射マーカを貼付し、複数のカメラにより撮像することで高精度に動作計測が可能である。しかし、高価である、三角測量の原理的に最低二台のカメラを使用する、赤外線カメラを使用するなどのことから、個人で手軽に使用することは難しいと想定される。またマーカ装着なく手軽に動作計測可能な、非接触式の画像処理は山本によると、人体モデルを用いて骨格位置を推定している[4]。老田らによるモデルを用いての骨格位置推定では誤差平均 10[cm]であった[5]。Yangang Wang らによる単眼カメラを用いた非接触式ではメッシュモデ

ルを用いて骨格の姿勢推定を行ったが、骨格の推定位置の平均誤差は 42.3[mm]であった[6]. このように非接触式は光学式と比較して高精度とはいいがたい. そこで、個人で計測箇所に着用可能な装着可能かつ、重さの負担のない軽量な反射マーカを作成し、明るい環境、薄暗い環境で短剣道の動作計測可能なシステムを提案する. これにより、個人で自分の短剣道動作を客観的かつ定量的な情報として取得することを可能とする. 本研究における要求仕様を述べる. 身体に装着するマーカの総重量はユーザの負担にならない程度とし、手軽に把持可能なりんご 1 個の重さ 250[g]以内とした. 個人でマーカを装着するまでの時間は江原の Vicon を学生実験に用いた際、15 点へのマーカ貼付におよそ 15[min]かかるとの報告を参考に 15[min]と同程度以内と定めた[7]. 物理座標の誤差は、Yangang Wang らのシステムと同程度以内と定めた. サンプル周波数は Vicon のサンプル周波数 120[fps]と同程度以上、かつ民生品のカメラで速い動作を計測可能な高精度カメラ、240[fps]と定めた.

## 2. システム構成

第一に、ユーザが重さによる負担を感じないマーカ総重量 250[g]の要求仕様を満たすため、重さ 2[g]、直径 5[cm]の軽量反射マーカを、色紙を軽量の発砲スチロールに巻きつけるよう作成した. また、ベルトとバンドに接着剤で離れないよう固定した. ベルトとバンドの詳細は後述する.

第二に、個人で計測箇所にマーカを装着できるように、両端にマジックテープを付加したゴム製のベルトと、ゴム製のバンドを用いることで、個人で計測箇所に巻きつけることが可能な機構を採用した. 計測箇所に巻きつける仕組みにしたのは、ユーザが服の上から計測箇所に装着でき服装を変更することなく、本システムを使用可能であることが望ましいからである. また、材質をゴムにしたのは、動作により服がずれマーカのずれにつながることを避けるため身体に密着するように装着でき、かつ伸縮性に優れているため、ユーザへの拘束感を極力やわらげることが可能だからである. また両端にマジックテープを付加することで、あらゆる体型でも装着可能なように拡張することが可能である.

第三に、習熟なしで求められるのは、生理学的な知識をもっていない使用者がマーカの装着位置やマーカ色分けを行うことを可能とする説明書である. なぜなら、従来のマーカ貼付位置を示すとき生理学的な用語（例えば、肩峰や剣状突起）が主に用いられるからである. ユーザはその知識を事前に得ているわけではなく生理学の知識がなければこの身体部位を示している

のか理解が難しく、習熟なしで装着するのは困難であるといえる. そこで一般的に使われると想定される単語で装着位置を示すこととした. また、ユーザが個人でマーカ色分けを簡単に行うために、マーカの色分け手順をフローチャート化した. そうすることで、上から下にフローチャートを読むだけで色分けが完了することが可能である.

第四に、明るい環境、薄暗い環境で動作計測可能にするためには、どちらの環境であってもマーカを視認可能とする必要がある. そこで本システムでは、視認性の高い蛍光色をマーカの色として採用した.

最後に、カメラには、Vicon と同程度以上の撮像速度で速い動作をぶれずに撮像可能とする民生品の高速度カメラ 240[fps]という仕様を満たす Apple 製 iPhone SE を採用した. また、そのカメラにより体格の大きな人が、竹刀を持った状態で、一回の跳躍をしても、画角内に被写体と竹刀が収まる、被写体とカメラの距離 495[cm]、カメラの高さ 135[cm]の撮像環境を構築した. また、撮像の際に、カメラのスローモーション機能を用いた. 撮像環境より画像平面上の 1[pixel]は 4.27[mm]である.

## 3. 評価実験

第一に、提案したマーカが、ユーザが重さの負担を感じないか評価するために 18 の計測箇所に装着したベルトもしくはバンドを付加した反射マーカの総重量を計測する実験を行い、その結果、18 の計測箇所のマーカ総重量は約 210[g]であった. 実験は 2 章で定めた 18 の計測箇所に装着したベルトもしくはバンドを付加した反射マーカをすべてはかりに置き重さを計測した.

第二に、個人で反射マーカを着用可能な装着可能か評価するために、被験者に 2 章で提案したマーカ装着位置とマーカ色分け手順の説明書を提示し、個人によるマーカ装着時間の計測実験を被験者 3 名に行い、その結果、個人による平均マーカ装着時間は 7.75[min]であった. 実験は個人によるマーカ装着時間をストップウォッチで計測した. また、開始時刻をこちら側の「装着してください」の掛け声、終了時刻を被験者の「装着を終えました」の掛け声とした.

第三に、明るい環境や薄暗い環境であっても動作計測が可能であるか評価するため、明るい環境と薄暗い環境の二点でシステムの出力位置精度を評価する実験を行い、推定位置誤差が画面端で最大 17.5[mm]、画像中央と端の真ん中で最大 9.6[mm]であった. 実験は、画像内のどの範囲であれば要求仕様を満たすか明らかにするために、八木アンテナ様の定規を画像の左下端、左下端と中心の真ん中、中心、右上端と中心の

真ん中，右上端となるように配置した．画像の二次元平面内において，対応したマーカのうち，一つを原点とし，もう一方をシステム出力座標としたときの原点からシステム出力座標までを推定値とする．また，実世界の物理座標系において，対応したマーカのうち，一つを原点とし，もう一方のマーカ位置までを真値とする．このときの推定誤差 $\{e_i\}_{i=1}^5$ は，実世界の八木アンテナのマーカ間を $\{A_i\}_{i=1}^5$ ，画像上マーカ間を $\{a_i\}_{i=1}^5$ としたとき次式で表される，

$$e_i = 4.27a_i - A_i \quad (1)$$

八木アンテナ用の定規の対応したマーカの距離はそれぞれ，500[mm]，250[mm]，125[mm]，100[mm]，50[mm]である．

第四に，関節角度の推定精度の評価をするために，身体に装着した反射マーカより 11 の関節角度(頭部，右肩，右肘，胸腰，右膝，両足下腿，両足首，両足のつま先)を推定し精度を評価する実験を行い，その結果，

右肩 180[deg.]と頭部 110[deg.]，130[deg.]を除けば誤差 15[deg.]以内であった．実験は，関節稼働域のダイナミックレンジの上限から下限を 4 等分もしくは 5 等分になるように分度器を当て傾け．そのときの画像のマーカ座標より推定される関節角度を推定値，分度器を真値とし．推定値と真値とで比較し検証した．ダイナミックレンジや真値のとり方は米本らの関節稼働域と測定法に基づいて決定した[8]．

最後に，短剣道の打突動作を計測できているか評価するために，剣先の速度が最も速いと想定される面打ちを一回行い，背景が複雑な状況下においてマーカ全ての位置が算出できているか，右肘の角度が面動作らしい値を推定しているか検証を行い，カメラより認識可能なマーカ位置の算出と，面動作に従った右肘の角度を推定できている可能性が考えられた．実験の被験者は 20 代成人男性である．図 1 に試用実験の結果を示す．

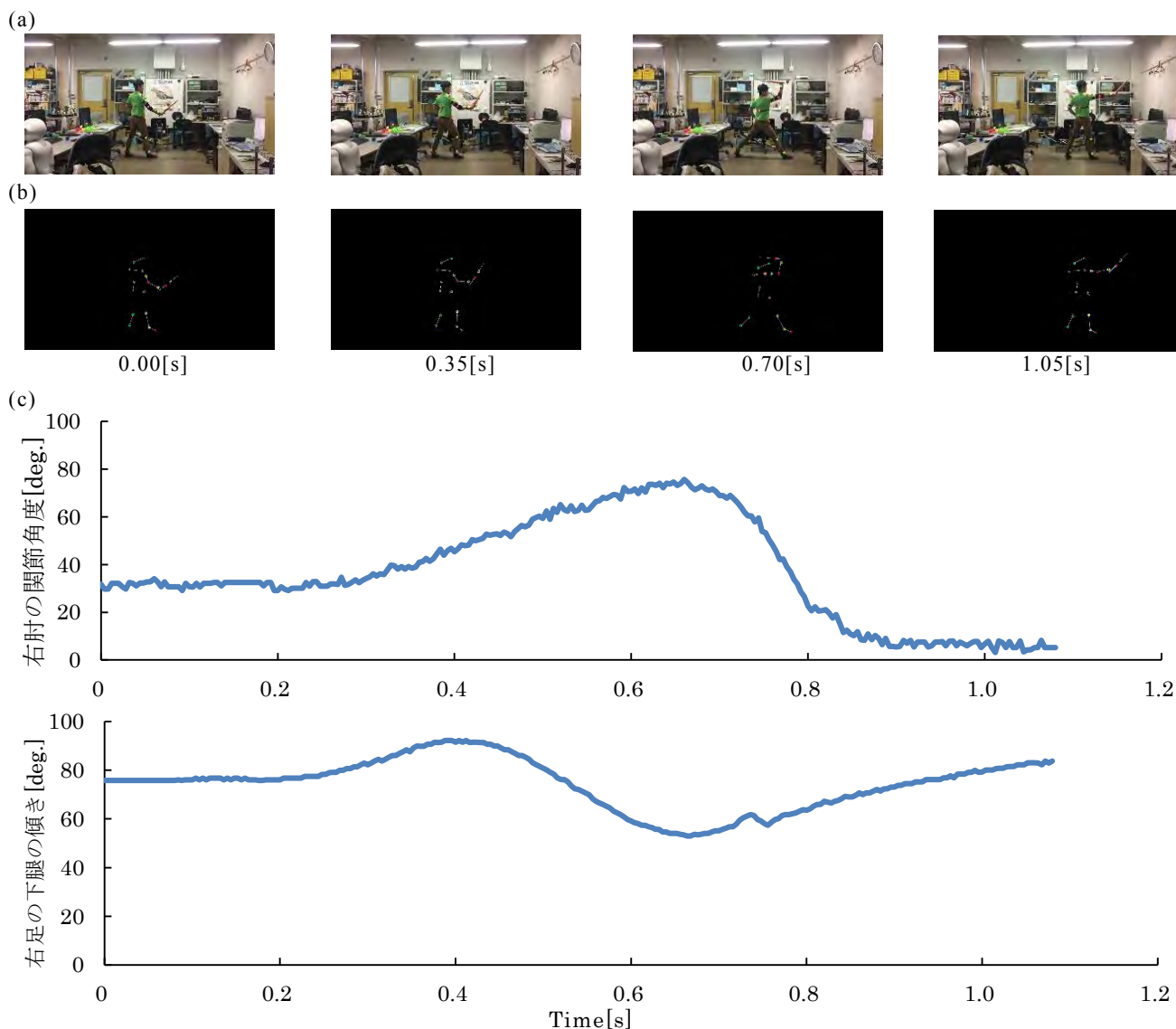


図 1 試用実験の結果．(a)撮像画像，(b)抽出されたマーカ，(c)関節角度推定結果の例．

#### 4. まとめ

本研究では、個人で自分の短剣道動作を客観的かつ定量的な情報として取得することを可能とするために、個人で計測箇所に習熟なしに装着可能かつ、重さの負担のない軽量の反射マーカを作成し、明るい環境、薄暗い環境で短剣道の動作計測可能なシステムを提案する。第一に、計測箇所にマーカを装着しても使用者が重さの負担を感じない反射マーカを軽量の発泡スチロールと色紙により作成した。第二に、個人で装着可能とするために両端にマジックテープを付加したゴム製のベルトとバンドを用いて個人で計測箇所に巻きつけることが可能な機構を採用した。第三に、習熟なしとするために生理学的な知識をもっていない使用者がマーカの装着位置やマーカ色分けを行うことを可能とする説明書を作成した。第四に、明るい環境や薄暗い環境であっても動作計測が可能であるために、視認性の高い蛍光色をマーカの色として採用した。最後に、速い動作をぶれずに撮像可能とするために、民生品の高速度カメラを、用いるカメラとして採用した。評価実験より、18の計測箇所のマーカ総重量は約210[g]であり、その結果は、要求仕様を満たすことから使用者が負担を感じない反射マーカであることが示唆された。個人による平均マーカ装着時間7.75[ $\text{min}$ ]であり、その結果より、要求仕様を満たすことから、個人で反射マーカを習熟なしに装着可能であることが示唆された。推定位置誤差が画面端で最大17.5[ $\text{mm}$ ]、画面中央と端の真ん中で最大9.6[ $\text{mm}$ ]であり、その結果は、要求仕様を満たすことから、明るい環境や薄暗い環境であってもシステムの位置出力は動作計測システムとして有効であることが示唆された。右肩180[ $\text{deg}$ .]と頭部110[ $\text{deg}$ .], 130[ $\text{deg}$ .]を除けば誤差15度以内で関節角度を推定可能であった。短剣道の打突動作の計測試用実験より、画像より認識可能なマーカ位置の算出と打突動作の角度を推定できている可能性が考えられた。その結果より、本システムは短剣道の打突動作計測システムとして有効である可能性があるといえる。

#### 文 献

- [1] 全日本銃剣道連盟  
<http://www.jukendo.info/jukendotankendo/tankendo>
- [2] 遠藤守, "文武不岐(ぶんぶふき) 修業と修行," パイオフィードバック研究, 42, 2, pp.93-97, 2015.
- [3] クレッセント社  
[http://www.crescentinc.co.jp/product/vicon/p\\_top/](http://www.crescentinc.co.jp/product/vicon/p_top/)
- [4] 山本正信, "コンピュータビジョン技術による次世代モーションキャプチャ," 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア, 43, SIG4(CVIM4), pp.1-9, 2002.
- [5] 老田隆, 堀純一郎, 高橋和彦, 橋本雅文, "三次元人体CGモデルを用いた多眼視マーカレスモーションキャプチャ(機械力学, 計測, 自動制御)," 日本機械学会論文集(C), 76, 772, pp.3422-3429, 2010.
- [6] Y Wang, Y Liu, X Tong, Q Dai, P Tan, "Outdoor Markerless Motion Capture with Sparse Handheld Video Cameras," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, printing, 2018.
- [7] 江原義弘, "使いたい VICON," バイオメカニズム学会誌, 32, 2, pp.107-111, 2008.
- [8] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹, "関節可動域表示ならびに測定法," リハビリテーション医学, 32, 4, pp.207-217, 1995.